

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу
Гомона Петра Святославовича

на тему: **«Методологічні засади моделювання та розрахунку елементів із цільної та клеєної деревини з комбінованим армуванням»**,
подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук
за спеціальністю 05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди

Послідовний глибокий аналіз дисертації Гомона Петра Святославовича **«Методологічні засади моделювання та розрахунку елементів із цільної та клеєної деревини з комбінованим армуванням»** та наукових статей опублікованих у спеціалізованих журналах дає підставу сформулювати основні висновки щодо основних наукових положень, наукової новизни та достовірності висновків, актуальності, ступеня обґрунтованості результатів роботи, а також практичного значення, та надати загальну оцінку дослідження

Актуальність теми дисертації

Дисертаційна робота присвячена актуальній науково-технічній проблемі вдосконалення методів розрахунку та моделювання згинальних елементів із цільної та клеєної деревини з комбінованим армуванням. В умовах сучасного будівництва зростає потреба у підвищенні ефективності використання матеріалів, забезпеченні надійності та довговічності конструкцій, що обумовлює необхідність розвитку науково обґрунтованих підходів до проектування дерев'яних елементів.

Особливої актуальності набувають питання врахування нелінійних властивостей матеріалів, сумісної роботи деревини з металевою та композитною арматурою, а також підвищення несучої здатності та жорсткості конструкцій шляхом комбінованого армування. У цьому контексті результати дисертаційної роботи є своєчасними та важливими для розвитку галузі.

Формулювання наукової проблеми, нове вирішення якої одержано в дисертації

У дисертаційній роботі вирішено важливу науково-технічну проблему підвищення ефективності та надійності згинальних дерев'яних елементів шляхом розроблення методики моделювання їх напружено-деформованого стану та розрахунку несучої здатності і жорсткості з урахуванням комбінованого армування та нелінійності деформування матеріалів.

Нове вирішення проблеми полягає у створенні деформаційної методики розрахунку на основі діаграми «момент–кривина», що дозволяє адекватно описувати роботу армованих і неармованих дерев'яних елементів на всіх стадіях навантаження та забезпечує підвищення точності прогнозування їх несучої здатності й жорсткості.

Сформульовані та вирішені такі основні *завдання* дослідження:

- розробити методологічні засади для моделювання та розрахунку елементів з цільної та клеєної деревини, що працюють на згин та стиск зі згином з різними варіантами армування;
- запропонувати комплекс методик для моделювання та розрахунку елементів з цільної та клеєної деревини, що працюють на згин та стиск зі згином з комбінованим армуванням під час їх попереднього напруження та роботи;
- провести експериментальні дослідження з виконанням попереднього напруження комбіновано армованих елементів з цільної та клеєної деревини, що працюють на згин та виконати експериментальні дослідження їх роботи з встановленням напружено-деформованого стану;
- встановити вплив пасивного та попередньо напруженого комбінованого армування на роботу згинальних армованих елементів з цільної та клеєної деревини, що працюють на згин;
- розробити спосіб верифікації та провести верифікацію запропонованих методик моделювання роботи армованих конструкцій з цільної та клеєної деревини на основі статистичного порівняння отриманих експериментальних даних з теоретичними;
- розробити методику розрахунку армованих різними матеріалами елементів з цільної та клеєної деревини, що працюють на згин, стиск зі згином та розтяг зі згином з застосуванням методу скінчених елементів в програмному комплексі ЛІРА САПР.

Ступінь обґрунтованості наукових положень

Наукові положення, висновки та рекомендації дисертації базуються на використанні сучасного математичного апарату, зокрема деформаційного підходу, діаграм «момент–кривина», а також методів чисельного моделювання.

Достовірність отриманих результатів підтверджується:

- узгодженням теоретичних і експериментальних даних (розбіжності в межах $\pm 10\%$);
- проведенням широкого комплексу експериментальних досліджень;
- верифікацією результатів із даними інших авторів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Дисертаційна робота виконана відповідно до напрямів державних наукових досліджень Національного університету водного господарства та природокористування у галузі будівельних конструкцій та відповідає сучасним тенденціям розвитку ресурсоефективних і інноваційних конструктивних рішень.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в тому, що:

вперше:

- розроблено цілісну деформаційну методологію моделювання та розрахунку згинальних дерев'яних елементів із цільної та клеєної деревини з

комбінованим армуванням на основі повних діаграм деформування матеріалів, що дозволяє описувати їх роботу на всіх стадіях навантаження;

- отримано узагальнені аналітичні залежності для визначення несучої здатності та жорсткості згинальних дерев'яних елементів із різними видами армування (сталевим і композитним) з урахуванням їх сумісної роботи;

- встановлено закономірності впливу комбінованого (пасивного та попередньо напруженого) армування на напружено-деформований стан, несучу здатність і жорсткість дерев'яних елементів.

удосконалено:

- метод визначення напружено-деформованого стану перерізів згинальних елементів на основі залежності «момент–кривина» з можливістю його застосування до неармованих, пасивно армованих і попередньо напружених конструкцій;

- підходи до розрахунку дерев'яних елементів із урахуванням нелінійності деформування матеріалів та стадійності роботи конструкції при навантаженні;

- методику врахування впливу попереднього напруження на роботу згинальних елементів.

набули подальшого розвитку:

- методи розрахунку дерев'яних елементів, що працюють на згин, стиск зі згином і розтяг зі згином, з урахуванням армування;

- підходи до чисельного моделювання напружено-деформованого стану дерев'яних конструкцій із використанням методу скінченних елементів;

- інженерні методики оцінювання несучої здатності та жорсткості дерев'яних конструкцій для практичного проектування.

Практичне значення отриманих результатів

- інженерних методик розрахунку дерев'яних елементів із комбінованим армуванням;

- рекомендацій щодо підсилення та оптимізації конструкцій;

- підходів до використання сучасних композитних матеріалів;

- методики чисельного моделювання із застосуванням програмного комплексу ЛІРА-САПР .

Отримані результати можуть бути використані у проєктній практиці та наукових дослідженнях.

Повнота викладення результатів у наукових публікаціях

Основні результати дисертації достатньо повно висвітлені у наукових публікаціях автора, зокрема у фахових виданнях України та міжнародних журналах, що індексуються у базах Scopus та Web of Science. Основний зміст викладено в 51 наукових працях, серед яких 10 статей – у наукових фахових виданнях, що входять до переліку, затвердженого Міністерством освіти і науки

України, категорії “А”, а саме у наукових періодичних виданнях, які включені до міжнародних наукометричних баз Scopus та Web of Science, 26 статті – у фахових виданнях, що входять до переліку, затвердженого ДАК України, категорія “Б”, 1 патент на корисну модель та 1 стаття в інших виданнях, 13 публікацій, що засвідчують апробацію наукової роботи. Кількість та рівень публікацій відповідають вимогам до докторських дисертацій.

Дотримання академічної доброчесності.

Аналіз дисертаційної роботи та публікацій автора не виявив порушень академічної доброчесності, елементів фальсифікації чи фабрикації тексту.

Оцінка змісту, стилю та оформлення дисертації, її завершеності

Дисертація є завершеною науковою працею, має класичну структуру та характеризується цілісністю змісту. Структура та оформлення відповідають установленим вимогам .

Дисертаційна робота складається зі вступу, шести розділів, загальних висновків до роботи, списку використаних джерел (261 найменувань), додатків з результатами чисельного моделювання в ПК ЛІРА-САПР, та додатків про впровадження результатів дисертаційної роботи. Дисертація викладена на 419 сторінках, у тому числі 305 сторінок основного тексту, 19 повних сторінки з таблицями та рисунками(6 таблиць), 15 сторінок з рисунками (30 таблиць, 195 рисунків), 26 сторінок списку літератури та 42 сторінки додатків.

У **вступі** наведена загальна характеристика дисертаційної роботи, автором обґрунтовано актуальність задачі; визначено мету, завдання, об’єкт, предмет та методи досліджень; особистий внесок здобувача, наведено зв’язок з науковими програмами та особливості внеску здобувача; описано новизну, практичне значення результатів, наведені дані про структуру дисертації, а також апробацію та впровадження дисертаційного дослідження.

У **першому розділі** дисертаційної роботи «**Практика використання деревини в композиціях з іншими матеріалами в несучих дерев’яних елементах, передумови і доцільність підсилення їх несучої здатності та жорсткості**» здійснено огляд і ґрунтовний аналіз сучасного стану експериментальних та теоретичних досліджень роботи згинальних елементів із цільної та клеєної деревини, армованих сталевією і композитною арматурою. За результатами проведеного аналізу обґрунтовано напрям наукових досліджень дисертації та визначено підходи до розв’язання поставлених завдань.

У **другому розділі** дисертаційної роботи «**Робочі гіпотези, передумови моделювання, прогнозування несучої здатності та жорсткості поперечного перерізу непідсилених та пасивно армованих дерев’яних елементів**» обґрунтовано доцільність прийнятих робочих гіпотез і передумов моделювання несучої здатності нормальних перерізів, а також виконано прогнозуванню граничної несучої здатності та жорсткості армованих і неармованих згинальних елементів із цільної та клеєної деревини.

У розділі досліджено механізм деформування деревини в поперечному перерізі та забезпечення сумісної роботи різних матеріалів на всіх стадіях життєвого циклу — від його прикладання до руйнування. Розроблено метод визначення напружено-деформованого стану дерев'яних елементів при згині на основі залежності внутрішніх зусиль від кривини (діаграми «момент–кривина»).

Обґрунтовано можливість перетворення діаграм «момент–кривина» у діаграми механічного стану для неармованих, пасивно армованих і попередньо напружених елементів. На цій основі запропоновано розрахункові підходи до визначення їх несучої здатності.

У **третьому розділі** дисертаційної роботи **«Моделювання роботи елементів з деревини із попередньо напруженим комбінованим армуванням на базі діаграм «момент-кривина»»** сформульовано основні підходи до методики моделювання та виконано моделювання пасивно армованих згинальних дерев'яних елементів. Здійснено вибір раціональних варіантів підсилення — однорідного та комбінованого пасивного армування — з метою підвищення несучої здатності за першою групою граничних станів.

Розроблено рекомендації щодо застосування пасивного комбінованого армування для досягнення максимального ефекту підвищення несучої здатності та жорсткості за другою групою граничних станів. Запропоновано методику прогнозування роботи згинальних дерев'яних елементів із комбінованим армуванням за умов попереднього напруження композитної арматури та визначено гранично допустимі значення такого напруження.

Висвітлено етапи формування напружено-деформованого стану після введення армуючих елементів на різних стадіях роботи попередньо напруженого елемента. Розглянуто альтернативні способи попереднього напруження (з попереднім стисканням, одночасним армуванням та напруженням у розтягнутій зоні), а також проаналізовано їх переваги та недоліки.

У **четвертому розділі** дисертаційної роботи **«Програма, методика проведення експериментальних досліджень, їх обсяг і виготовлення зразків й елементів з деревини та балок з комбінованим армуванням»** Розроблено програму та методику проведення експериментальних досліджень. Обґрунтовано геометричні параметри зразків-призм із деревини для визначення її фізико-механічних характеристик. Детально описано процес виготовлення дослідних балок із цільної та клеєної деревини.

Особливу увагу приділено технології виготовлення зразків із клеєної деревини з пасивним комбінованим армуванням, у яких у стиснутій зоні застосовано сталеву арматуру, а в розтягнутій — композитну вуглецеву стрічку Sika CarboDur S-512. Розглянуто прості способи створення попереднього напруження з використанням вуглецевої стрічки та запропоновано новий технологічний підхід до виготовлення попередньо напружених дерев'яних елементів.

Наведено опис застосованого силового обладнання та вимірювальних приладів, а також схем їх розміщення під час випробувань. Висвітлено методику

випробування балок із цільної та клеєної деревини з пасивним і попередньо напруженим армуванням та визначено обсяг проведених експериментальних досліджень.

У п'ятому розділі дисертаційної роботи «**Експериментально-теоретичні дослідження елементів з цільної деревини на поперечний згин**» наведено результати теоретичного моделювання та експериментальних досліджень згинальних елементів із цільної деревини з комбінованим армуванням, як із попереднім напруженням, так і без нього. Проведено порівняння теоретичних і експериментальних даних. Проаналізовано напружено-деформований стан балок під час створення попереднього напруження у вуглецевій стрічці Sika CarboDur S-512 та враховано роботу арматури в стиснутій зоні після напруження. Встановлено, що вуглецева стрічка ефективна для застосування в дерев'яних балках як елемент попереднього напруження, проте її слід використовувати разом зі сталевією арматурою. Показано, що клейовий шов із композитного клею Sikadur-30 забезпечує відмінну сумісну роботу деревини та вуглецевої стрічки Sika CarboDur S-512. Експериментальні дані «момент – кривина» та «момент – прогин» відрізняються від теоретично змодельованих у межах $\pm 10\%$.

Шостий розділ дисертаційної роботи «**Верифікація методології моделювання роботи згинальних елементів з клеєної деревини на основі експериментальних досліджень**» присвячено верифікації результатів моделювання діаграм «момент – кривина» та «момент – прогин» порівняно з даними експериментальних випробувань балок із клеєної деревини. Верифікація проведена для балок без попереднього напруження та з попереднім напруженням, з комбінованим армуванням і без нього. Виконано аналіз збіжності теоретичних результатів моделювання роботи балок із клеєної деревини з відомими експериментальними даними інших авторів. Встановлено, що як пасивне армування, так і армування з попереднім напруженням підвищує несучу здатність балок за нормальними перерізами та за другою групою граничних станів. Виявлено, що для підвищення несучої здатності комбіновано армованих згинальних дерев'яних елементів із цільної та клеєної деревини необхідне додаткове підсилення для протидії дотичним силам. Розроблено методика розрахунку елементів із цільної та клеєної деревини, армованих різними матеріалами, що працюють на згин, стиск зі згином та розтяг зі згином, із застосуванням методу скінченних елементів у програмному комплексі ЛІРА САПР.

У загальних висновках сформульовано основні наукові результати дослідження відповідно до поставлених завдань.

В цілому ж, в роботі можна відмітити послідовність і логічність викладення інформації. Робота є завершеною самостійною науковою працею.

Дискусійні положення та зауваження по дисертаційній роботі.

У процесі аналізу змісту й структури дисертації виникли такі питання змістовного характеру:

1. Запропонована у *другому розділі* деформаційна методика розрахунку згинальних елементів на основі діаграм «момент–кривина» є цікавою, проте в роботі недостатньо чітко окреслено межі її застосування. Відсутнє належне обґрунтування використання методики для різних режимів навантаження та умов експлуатації, що обмежує можливість її практичного впровадження.

2. Не зрозуміло чим відрізняються алгоритми побудови графіку «момент–кривина» для підсиленого дерев'яного елемента з аналогічним алгоритмом з використанням оптимізованих діаграм деформування (рис.2.23 та рис.2.24) і що означають оптимізовані діаграми деформування.

3. Розділ 2.2.2 називається «Встановлення *оптимальних* розмірів поперечного нормального перерізу та довжини елементів з деревини, що працюють на згин». За відсутністю функції оптимізації доцільно було б назвати «Встановлення *ефективних* розмірів поперечного нормального перерізу...». Це стосується використання терміну «оптимальний» наскрізно по тексту. («ефективне підсилення» замість «оптимальне підсилення», «раціональні схеми армування» замість «оптимальні схеми армування» і таке інше)

4. Рис.3.6. Схема визначення прогинів неармованих та пасивно комбіновано армованих балок. На схемі в алгоритмі дублюються двічі твердження «Визначення згинальних *моментів* по довжині елемента». Напевно мається на увазі «Визначення *кривини* по довжині елемента»

5. Невірна нумерація формул – після формули за номером 3.6 йде формула 3.9

6. У роботі встановлено ефективність застосування комбінованого армування та попереднього напруження для підвищення несучої здатності дерев'яних елементів згідно аналізів результатів, наведених на рис. 3.49–3.50 (с. 197–198). Однак, не розглянуто вплив тривалих навантажень, повзучості деревини та релаксації напружень у армувальних елементах, які суттєво впливають на роботу конструкцій у реальних умовах експлуатації.

7. Робота зосереджена переважно на статичних навантаженнях, тоді як питання динамічної дії, втоми матеріалу та циклічних навантажень залишилися поза увагою. Це звужує сферу застосування отриманих результатів.

8. У підрозділі 5.1 (с. 241) наведено результати випробування деревини на стиск уздовж волокон та побудову діаграм деформування . Однак не наведено апроксимаційних залежностей у вигляді аналітичних функцій, що обмежує можливість подальшого використання отриманих результатів у розрахункових моделях.

9. У підрозділі 5.5 (с. 275) розглянуто роботу вуглецевої стрічки в армованих балках .Проте не наведено достатнього аналізу напружень у зоні контакту «деревина – клей – композит», що є ключовим для оцінки надійності сумісної роботи матеріалів.

10.Запропонована методика розрахунку елементів із використанням методу скінченних елементів у програмному комплексі ЛІРА-САПР не містить достатньої деталізації:

- не наведено параметрів моделей (типи елементів, граничні умови, закони матеріалів, жорсткісні характеристики);

Це обмежує відтворюваність і практичну цінність методики.

11. У розділі 6 відсутній аналіз впливу фізичної нелінійності деревини (повзучість, тривала міцність, релаксація) на результати моделювання, хоча для деревини це є принципово важливим фактором.

12. Загалом слід відзначити, що попри значний обсяг виконаних досліджень, у роботі відсутні інженерні рекомендації та приклади практичного застосування, що ускладнює використання результатів дослідження в проектній практиці.

Зазначені зауваження не знижують загальної наукової цінності роботи, а носять дискусійний та рекомендаційний характер.

Дисертаційна робота Гомона П. С. відповідає спеціальності 05.23.01 – «Будівельні конструкції, будівлі та споруди» і є завершеною науковою працею. У дисертації вирішено важливу науково-технічну проблему підвищення жорсткості елементів із цільної та клеєної деревини, що працюють на згин, стиск або розтяг зі згином, шляхом використання різних армуючих матеріалів. Автор пропонує методи їх моделювання та розрахунку з урахуванням сучасних теорій про міцнісні й деформаційні характеристики матеріалів, що, своєю чергою, дозволяє підвищити ефективність використання дерев'яних конструкцій та розширити сферу їх застосування.

ЗАГАЛЬНИЙ ВИСНОВОК

За обсягом виконаних досліджень, актуальністю, рівнем наукової новизни, достовірністю, обґрунтованістю, практичною цінністю та впровадженням отриманих результатів дисертаційна робота «**Методологічні засади моделювання та розрахунку елементів із цільної та клеєної деревини з комбінованим армуванням**» відповідає вимогам Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 17 листопада 2021 року № 1197, а її автор — **Гомон Петро Святославович** — заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.23.01 – «Будівельні конструкції, будівлі та споруди».

Офіційний опонент:

Професор кафедри комп'ютерних технологій
будівництва факультету архітектури, будівництва і дизайну,
Національного авіаційного університету
«Київський авіаційний інститут»,
доктор технічних наук, професор

